

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-102150

(43)Date of publication of application : 21.04.1998

(51)Int.Cl. C21D 8/12
 G22C 38/00
 G22C 38/60
 H01F 1/16

(21)Application number : 08-283498

(71)Applicant : KAWASAKI STEEL CORP

(22)Date of filing : 25.10.1996

(72)Inventor : TOGE TETSUO
 SADAHIRO KENICHI
 HONDA ATSUTO
 MURAKI MINEO

(30)Priority

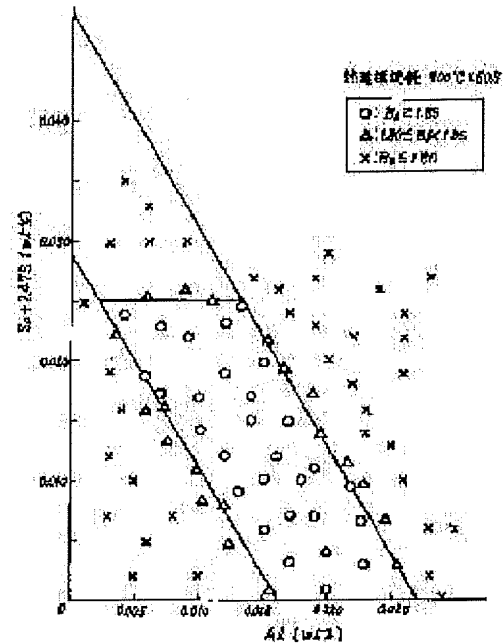
Priority number : 08209679 Priority date : 08.08.1996 Priority country : JP

(54) PRODUCTION OF GRAIN ORIENTED SILICON STEEL SHEET

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To stably produce a grain oriented silicon steel sheet excellent in magnetic properties by subjecting a silicon steel slab, having a composition containing specific amounts of C and Si and further containing Al, Se, S in specific compositional relations, to specific hot rolled plate annealing.

SOLUTION: A slab of silicon steel, having a composition containing, by weight, 0.02-0.07% C and 2.5-4.5% Si and further containing Al, Se, and S so that $0.016 \leq \text{Al} + 5/9 (\text{Se} + 2.47\text{S}) \leq 0.027\%$ and $\text{Se} + 2.47\text{S} \leq 0.025\%$ are satisfied, is hot-rolled. The resultant hot rolled plate is subjected to hot rolled plate annealing at 800-1000°C. Then, the hot rolled plate is cold-rolled once or two or more times, e.g. by a tandem mill at $\geq 100^\circ\text{C}$. The resultant cold rolled sheet of final sheet thickness is subjected to decarburizing annealing, and, after the application of a separation agent at annealing, finish annealing is applied. By this method, the grain oriented silicon steel sheet, in which magnetic properties are maintained superiorly, can be obtained at a low cost without applying positive intermediate nitriding.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁹
C21D 8/12

(11) 공개번호 특1998-018489
(43) 공개일자 1998년06월05일

| | |
|------------|---|
| (21) 출원번호 | 특1997-037810 |
| (22) 출원일자 | 1997년08월07일 |
| (30) 우선권주장 | 96-209679 1996년08월08일 일본(JP) |
| (71) 출원인 | 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 에모토 간지 일본 효고고젠 고베시 주오구 기다혼다찌도리 1쵸메 1방 28고 |
| (72) 발명자 | 도게 데쓰오 일본 오카야마켄 구라시끼시 미즈시마 가와사끼도리 1쵸메 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 미즈시마세이데쓰쇼 나미 혼다 아쓰히토 일본 오카야마켄 구라시끼시 미즈시마 가와사끼도리 1쵸메 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 미즈시마세이데쓰쇼 나미 무라찌 미네오 일본 오카야마켄 구라시끼시 미즈시마 가와사끼도리 1쵸메 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 미즈시마세이데쓰쇼 나미 시다히로 겐이찌 일본 오카야마켄 구라시끼시 미즈시마 가와사끼도리 1쵸메 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 미즈시마세이데쓰쇼 나미 다까시마 미노루 일본 오카야마켄 구라시끼시 미즈시마 가와사끼도리 1쵸메 가와사끼세이데쓰 가부시끼가이샤 미즈시마세이데쓰쇼 나미 |
| (74) 대리인 | 박해선, 조영원 |

심사청구 : 없음

(54) 일방향성 규소강판의 제조방법

요약

본 발명은 슬래브 가열 온도가 보통 강 정도로 낮으면서 또 자기 특성을 양호하게 유지하는 일방향성 규소 강판을, 적극적인 도중 절화를 실시하지 않고 안정되고 유리하게 제조할 수 있는 방법을 제공하는 것으로서, 이 방법은, 슬래브 중의 Al, Se 및 S의 각 함유량 [Al], [Se] 및 [S] (wt%) 에 대해 하기 식(1) 및 식(2)을 모두 만족하고, 또한 식(3) 및 식(4)을 모두 또는 어느 하나 만족하며,

$$[Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \leq 0.027 \dots\dots(1)$$

$$[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \leq 0.025 \dots\dots(2)$$

$$0.016 \leq [Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \dots\dots(3)$$

$$0.010 \leq [Al(wt\%)] \dots\dots(4)$$

열연판 소둔을 800℃ 이상 1000℃ 이하에서 행하고, 더 바람직하게는 냉간 압연을 탠덤 압연기로 100℃ 이상에서 행한다.

도면도

도2

명세서

도면의 간단한 설명

도1은 Al양, Se양 및 S양과 자기 특성의 관계를 나타내는 그래프.
도2는 Al양, Se양 및 S양과 자기 특성의 관계를 나타내는 그래프.
도3은 Al양, Se양 및 S양과 자기 특성의 관계를 나타내는 그래프.

도4는 실험에 사용한 강 슬래브의 Al양, Se양 및 S양을 나타내는 그래프.

도5는 냉간 압연시의 압연 온도와 자기 특성의 관계를 나타내는 그래프.

도6은 실시예에서 사용한 강 슬래브의 Al양, Se양 및 S양을 나타내는 그래프.

도7은 강 중 Al 함유량과 냉연시의 크랙 발생 빈도의 관계를 나타내는 그래프.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 일방향성 규소 강판의 제조 방법에 관한 것으로서, 특히 자기 특성을 양호하게 유지한 범용의 일방향성 규소 강판을 생산효율이 좋고 또한 크랙이 적게하여 안정하게 제조할 수 있는 방법에 관한 것이다.

일방향성 규소 강판은 주로 변압기 및 그 외의 전기기기의 철심재료로 사용되며, 자기 특성으로서 자속밀도가 높고 철손치(鐵損値)가 낮은 것 등이 기본적으로 중요하다. 그 때문에, 일방향성 규소 강판의 일반적인 제조 방법에는 두께 100~300mm의 슬래브를 보통 강에 비하여 고온으로 가열한 후 열간 압연하고, 이어서 이 열연판을 1회 또는 중간 소둔이 포함된 2회 이상의 냉간 압연에 의해 최종 판두께로 하고, 탈탄 소둔한 후 소둔 분리제를 도포하고 나서 2차 재결정 및 순화를 목적으로 최종 마무리 소둔을 행하는 복잡한 공정이 채택되고 있다.

즉, 자기 특성을 높이기 위해서는 마무리 소둔 공정에서의 2차 재결정에서, 자화용미축인 1축이 압연 방향으로 정렬된 {110} 1 방위 (소위 고스 방위 (Goss orientation))의 결정립을 성장시키는 것이 중요하고, 이러한 고스방위에 고도로 정렬된 2차 재결정 조직으로 이루어지는 강판을 수득하기 위해서야말로 상기와 같은 복잡한 공정이 채택되고 있다.

이러한 2차 재결정을 효과적으로 촉진시키기 위해서는 먼저, 고스 방위 이외의 1차 재결정의 성장을 억제하는 인히비터라고 불리는 분산상을 균일하고도 적절한 크기로 강 중에 분산시키는 것이 중요하다. 이러한 인히비터에는 황화물, 셀렌화물, 질화물 등으로서, 강 중에서의 용해도가 극히 작은 것이 사용되고, 대표적인 것은 MnS, MnSe, AlN 및 VN 등이다.

상술한 황화물, 셀렌화물이나 질화물의 주인히비터를 적절한 크기로 미세분산시키기 위해, 종래부터 열연 전의 슬래브 가열시에 인히비터를 일단 완전히 고용(固溶)시킨 후, 열연시에 석출시키는 방법이 행해져 왔다. 여기에서, 인히비터를 충분히 고용시키기 위한 슬래브 가열 온도는 1400℃ 정도이고, 보통 강의 슬래브 가열 온도에 비하여 약 200℃나 높다. 이러한 고온 슬래브 가열은 인히비터의 기능을 충분히 발휘시키기 위해 필수인 반면, 다음과 같은 폐해를 초래하고 있었다.

- (1) 고온 가열을 행하기 때문에 에너지원 단위가 높다.
- (2) 용융 스케일이 발생하기 쉽고, 또 슬래브 처짐이 생기기 쉽다.
- (3) 슬래브 표층의 과탈탄이 생긴다.

그래서, 상기 (2), (3)의 문제를 해결하기 위해 일방향성 규소 강 전용의 유도가열로가 개발되어 실제 슬래브 가열에 사용되고 있으나, 에너지 절약의 관점에서 보면, 오히려 에너지 증대로 이어진다는 문제점이 남아 있었다.

일방향성 규소 강판을 생산효율이 좋게 제조하기 위해서는, 가능한 한 에너지 절약을 꾀하는 것이 요망되며, 이를 위해서도 슬래브 가열시의 에너지 삭감은 급선무이다. 또, 고급 일 방향성 규소 강판은 차치하고, 자기 특성이 중급 정도인 범용품에서는 특히, 제조비용의 삭감이 중요과제이기 때문에 슬래브 가열시의 에너지 삭감(즉, 가열 온도의 저온화)은 제조비용의 삭감으로 이어진다는 이점도 있다.

그러므로, 일방향성 규소 강판을 제조함에 있어서의 슬래브 가열의 저온화를 실현하기 위해, 지금까지 많은 연구자가 많은 노력을 해 왔다. 그 성과에 대해서는 이미 많은 개시가 있고, 예를 들면 일본 특허공개 소54-24685호 공보에서는 As, Bi, Pb, Sb 등의 입계편석원소(粒界偏析元素)를 강 중에 함유시켜 인히비터로 이용함으로써, 슬래브 가열 온도를 1050~1350℃의 범위로 하는 방법이 개시되었다. 또, 일본 특허공개 소57-158322호 공보에서는 강 중의 Mn양을 낮추어 Mn/S의 비율을 2.5이하로 함으로써 저온 슬래브 가열화를 행하고, 또한 Cu의 함유에 의해 2차 재결정을 안정화하는 기술이 개시되었다. 더욱이, 일본 특허공개 소57-89433호 공보에서는 Mn에 더하여 S, Se, Sb, Bi, Pb, B 등의 원소를 더한 슬래브를 사용하고, 이에 슬래브의 주상정률(柱狀晶率) 및 2차 냉연압하율의 제어를 조합시킴으로써 1000~1250℃의 저온 슬래브 가열화를 실현하고 있다.

이들 기술은 강 중에서의 용해도가 극히 작은 AlN을 인히비터로 이용하지 않는 방침의 기술이다. 따라서, 결과적으로 인히비터의 억제력이 약하기 때문에 자기 특성이 조금 좋지 않거나, 연구실 규모의 기술이었다는 문제점이 있었다.

또, 일본 특허공개 소59-190324호 공보에서는 1차 재결정 소둔시에 펄스소둔을 실시하는 신규 기술이 개시되었는데, 이것도 연구실 규모의 제조수단에 그치고 있다.

다음에, 일본 특허공개 소59-56522호 공보에서는 Mn을 0.08~0.45%, S를 0.007%이하로 함으로써 저온 슬래브 가열화하는 방법이 개시되어 있고, 이것에 Cr을 첨가함으로써 2차 재결정의 안정화를 꾀하는 기술이 일본 특허공개 소59-190325호 공보에 개시되었다. 이들 기술은 어느 것이나 S양을 낮추어 슬래브 가열시의 MnS의 고용을 꾀한다는 것이 특징이다. 그러나 중량이 큰 슬래브에는 폭 방향이나 길이 방향에서 자기

특성의 편차가 생긴다는 문제점이 있었다.

한편, 일본 특허공개 소57-207114호 공보에서는 규소 강외 극저탄소화(C : 0.002~0.010%)와 저온 슬래브 가열화를 조합시키는 기술이 개시되었다. 이것은 슬래브 가열 온도가 낮은 경우에는 응고에서 열연까지의 사이에 오오스테나이트상을 경유하지 않는 편이 다음의 2차 재결정에 유리하다는 사실에 기초하는 기술이다. 이처럼 C량이 극단으로 낮은 것은 냉연시의 파단 방지에도 유리하지만, 2차 재결정을 안정화시키기 위해서는 탈탄 소둔시에 질화시키는 것이 필요하다.

상기의 일본 특허공개 소57-207114호 공보의 기술이 개시된 후에는, 제조공정의 도중에서의 질화를 전제로 한 기술개발이 주류를 이루어 왔다. 예를 들면 일본 특허공개 소62-70521호 공보에서는 마무리 소둔 조건을 특정하고, 마무리 소둔시에 도중 질화를 실시함으로써 저온 슬래브 가열을 가능하게 하는 기술이 개시되어 있고, 또한 일본 특허공개 소62-40315호 공보에서는 슬래브 가열시에 고용할 수 없는 양의 Al, N을 함유시켜서 도중 질화에 의해 인히비터를 적정상태로 제어하는 방법이 개시되었다.

그러나 상기와 같은 탈탄 소둔시에 도중 질화를 실시하는 방법은 새로운 설비를 요하고, 비용이 증대한다는 문제점이 있으며 또한, 마무리 소둔 중의 질화는 제어가 곤란하다는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명이 해결하고자 하는 과제로는, 슬래브 가열 온도가 보통 강 정도로 낮으면서 또 자기 특성을 양호하게 유지하는 일방향성 규소 강판을 적극적인 냉연 후의 소둔 도중의 질화를 실시하지 않고, 안정되고 유리하게 제조할 수 있는 방법을 제공하는 것이 첫 번째 목적이다. 또 슬래브 가열 온도를 낮추면 크랙의 발생 빈도가 높아지고, 제품의 수율이 저하한다는 문제가 있으며, 두 번째 목적은 슬래브 가열 온도를 낮춘 경우에 빈번히 생기는 냉연시의 파단을 방지하는 것이다. 이들은 비용 삭감이 요구되는 범용의 일방향성 규소 강판의 제조에서 특히 유리하게 적합하다.

발명의 구성 및 작용

본 발명의 요지로 하는 것은, 규소 강 슬래브를 가열한 후 열간 압연을 하고, 이어서 열연판 소둔을 한 다음, 1회 또는 2회 이상의 냉간 압연에 의해 최종 판두께로 한 후, 탈탄 소둔을 하고, 이어서 소둔 분리제를 도포한 후에 마무리 소둔을 실시하는 일방향성 규소 강판의 제조 방법에 있어서, 슬래브 중의 Al, Se 및 S의 각 함유량 [Al], [Se] 및 [S] (wt%)에 대해 하기 식(1) 및 식(2)을 모두 만족하고, 또한 식(3) 및 식(4)를 모두 또는 어느 하나 만족하며,

$$[Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \leq 0.027 \dots\dots(1)$$

$$[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \leq 0.025 \dots\dots(2)$$

$$0.016 \leq [Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \dots\dots(3)$$

$$0.010 \leq [Al(wt\%)] \dots\dots(4)$$

그리고, 이 슬래브를 1260°C이하로 가열하고, 열연판 소둔을 800°C 이상 1000°C 이하에서 행함에 의한 일방향성 규소 강판의 제조 방법에 있다.

또한, 크랙의 발생빈도를 적게하기 위해 슬래브 중의 Al [Al] (wt%)가 하기 식(5) :

$$[Al(wt\%)] \leq 0.020 \dots\dots(5)$$

를 만족하는 일방향성 규소 강판의 제조 방법을 포함한다.

또한, 슬래브가 C : 0.015~0.070 wt% 및 Si : 2.5~4.5 wt%를 함유하는 제조방법 및 냉간압연을 탠덤 압연기로 100°C 이상의 온도에서 행하는 제조방법으로 안정하게 일방향성 규소 강판을 제조할 수 있다.

이하에 본 발명의 안출하기에 이른 경우에 대하여 구체적으로 설명한다.

일방향성 규소 강판 슬래브의 가열 온도의 저온화를 꾀함에 있어서, 슬래브 가열시에 AlN, MnS, MnSe가 충분히 고용할 수 있도록 인히비터 성분을 감소시키는 시도는 종래부터 많이 되어 왔다. 그러나 MnSe, MnS를 감소시킨 경우에는 제조 공정 도중에서의 질화가 필수 조건이었다. 그래서 발명자들은 열연판 소둔 조건을 변화시킴으로써 인히비터로서의 AlN, MnS, MnSe를 어느 정도 감소시켜 자기 특성의 저하를 방지할 수 있다고 생각하여 다음 실험을 행하였다.

인히비터로는 AlN, MnSe, MnS를 주로 하여 규소강 슬래브의 인히비터 성분의 함유량을 크게 변화시켰다. 또한, 종래 함유량에 대해 개별적으로 제어되었던 황화물·Se 화합물계의 인히비터 (주로 MnS, MnSe)와 질화물계의 인히비터 (주로 AlN)를 동시에 제어하는 것을 시험하였다. 슬래브 두께는 200mm~260mm이고, 이런 슬래브를 보통 강 정도인 1200°C로 가열한 후에 2.3mm까지 열간 압연하고, 이어서 열연판 소둔 조건을 (a) 750°C×1분, (b) 900°C×1분, (c) 1050°C×1분의 3종류로 변화시킨 열연판 소둔을 한 후, 0.35mm 두께까지 냉간 압연하고, 탈탄 소둔을 하고, 소둔 분리제를 도포하고, 최종 마무리 소둔을 하였다. 이렇게 해서 얻은 강판의 자속 밀도를 측정하여 그 결과를 도1~도3에 나타낸다. 도1이 열연판 소둔 조건이 (a) 750°C×1분인 경우, 도2가 열연판 소둔 조건이 (b) 900°C×1분인 경우, 그리고 도3이 열연판 소둔 조건이 (c) 1050°C×1분인 경우의 측정결과이다.

여기에서 황속에 슬래브의 Al 함유량을 취하고, 종속에는 슬래브의 Se 및 S의 함유량을 같은 68쪽 원소에 속하는 Se와 S의 원자량의 차이 (Se/S=2.47)를 고려하여 서로 만족할 만한 값을 취하였다. 인히비터로 이용하는 Al, Se, S의 양을 제어함에 있어서 이러한 시점에서 적정범위를 구하려고 하는 것은 발명자들의 신규한 발상이다.

도1~도3에서, 열연판 소둔 조건이 (a)의 750°C×1분 이하 (c)의 1050°C×1분인 경우에는 대부분의 강 중

류에서 R_0 이 1.80T 미만인 되고, 1.85T 이상이 되는 강 종류는 거의 없는 것에 대해, 열연판 소둔 조건이 (b) $900^{\circ}\text{C} \times 1$ 분인 경우에는 도2에 나타내는 다각형 ZYWU 로 둘러싸인 범위의 성분계, 즉 슬래브 중의 Al, Se 및 S의 각 함유량 [Al], [Se] 및 [S] (wt%) 에 대해 하기 식(1) 및 식(2)를 모두 만족하고, 또한 식(3) 및 식(4)를 모두 또는 어느 하나 만족하면, R_0 이 안정되어 1.85T 이상이 되었다.

$$[\text{Al}(\text{wt}\%)] + (5/9) \{[\text{Se}(\text{wt}\%)] + 2.47 [\text{S}(\text{wt}\%)]\} \leq 0.027 \dots\dots(1)$$

$$[\text{Se}(\text{wt}\%)] + 2.47 [\text{S}(\text{wt}\%)] \leq 0.025 \dots\dots\dots(2)$$

$$0.016 \leq [\text{Al}(\text{wt}\%)] + (5/9) \{[\text{Se}(\text{wt}\%)] + 2.47 [\text{S}(\text{wt}\%)]\} \dots\dots\dots(3)$$

$$0.010 \leq [\text{Al}(\text{wt}\%)] \dots\dots\dots(4)$$

그런데 상기의 4개의 부등식으로 규정한 Al, Se, S 양은 종래 기술에서 실시되어 온 Al, Se, S양과 비교하여 적은 범위가 된다. 또한, Al 양을 감소시키지 않고 Se, S를 본 발명만큼 적게 하는 기술은 종래부터 있었지만, 도중 질화가 필요했다. 그래서, 인히비터 억제력을 약화시키지 않기 위해서라도 Al 양을 감소시키지 않는 것이 종래의 지견이었다. 즉, 인히비터 억제력이 약화하면 충분한 2차 재결정이 생기지 않거나 혹은 2차 재결정은 되어도 {110} 1 방향으로부터 어긋나 있는 2차립이 많아진다고 생각되어 온 것이다. 그러나, 종래 기술과 같이 탈탄 소둔시에 도중 질화를 실시하는 방법은 새로운 설비를 요하고, 비용이 증대한다는 문제점이 있으며, 또 마무리 소둔 중의 질화는 제어가 곤란하다는 문제점이 있다.

이러한 종래의 지견 및 기술에 대하여, 도1~도3의 실험 결과는 특히 적극적인 도중 질화를 실시하지 않아도 Al, Se, S 양을 적정하게 제어하고 열연판 소둔 조건을 적정화함으로써 보통 강 정도의 저온 슬래브 가열 공정에서도 양호한 자기 특성을 갖는 일방향성 규소 강판을 제조할 수 있다는 것으로 보여주어 있다.

상술한 적정한 열연판 소둔 조건이라는 것은, 통상의 일방향성 규소 강판의 열연판 소둔 조건보다도 저온이고, 게다가 단시간인 것이 특징이다. 이것은 제조 비용을 삭감할 위해 극히 바람직한 실험 결과이다. 또 Al양을 감소시키면 종래는 자성이 열화한다고 생각되어 온 것에 대해, 실제로는 어느 정도 감소시키는 편이 자성이 좋아진다는 놀랄만한 결과를 얻었다.

상기와 같이 최적의 열연판 소둔 온도가 저온, 단시간 속으로 이동하는 이유는 다음과 같이 생각된다. 슬래브 가열 온도가 낮을 만큼 열연판 조직은 출출해 진다. 따라서 Al, Se, S 양이 적고 인히비터 기능이 약한 조건에서는 열연판 소둔을 할 때에 표층부의 입자성장이 활발해 지고, 표층 조대립(粗大粒)이 생기기 쉽다. 이 표층 조대립은 후의 2차 재결정 시에 2차 재결정립의 성장을 저해한다. 따라서, 열연판 소둔의 소둔 온도는 표층 조대립화가 생기지 않을 정도까지 종래에 비해 낮게 하는 것이 자기 특성을 위해 필요한 것이다. 또, 슬래브 가열 온도가 낮으면 열연판 조직이 세밀해지기 때문에 조직 균일화를 위한 소둔은 불필요하다. 단, 상술한 (a) $750^{\circ}\text{C} \times 1$ 분의 열연판 소둔에서는 온도가 너무 낮아 인히비터의 미세석출이 불충분하기 때문에 부적절하다.

상기의 지견을 기초로, 자기 특성의 개선을 더욱 도모하기 위하여 발명자들은 냉간 압연의 온도에 착안하여, 압연 온도가 제품의 자기 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이 실험에 사용한 슬래브의 화학조성 (wt%)은 다음의 5종,

(A) Si : 3.15, C : 0.033, Al : 0.014, Se : 0.0110, S : 0.002

(B) Si : 3.08, C : 0.052, Al : 0.017, Se : 0.0070, S : 0.001

(C) Si : 3.19, C : 0.038, Al : 0.012, Se : 0.0015, S : 0.001

(D) Si : 2.90, C : 0.029, Al : 0.025, Se : 0.0080, S : 0.007

(E) Si : 3.26, C : 0.041, Al : 0.005, Se : 0.0060, S : 0.002

이고, 이러한 Al양, Se양, S양은 철속에 Al양을, 종속에 Se양 및 S를 취하여 도시하면 도4와 같은 위치에 상당한다. 이들 슬래브를 1200°C 로 가열한 후에 2.3mm까지 열연하고, $900^{\circ}\text{C} \times 1$ 분의 열연판 소둔 후, 0.35mm 두께까지 냉간 압연하였다. 이 냉간 압연은 압연은 탠덤 압연기로 행하고, 그 압연 온도는 탠덤 압연기로 실시 가능한 범위 내에서 변화시켰다. 그 후, 탈탄소둔하고 미어서 소둔 분리제를 도포하고 나서 최종 마무리 소둔을 실시하였다. 이렇게 하여 얻은 시료에 대하여 자속 밀도를 측정하였다. 그 결과를 도5에 나타낸다.

도5로부터 소재(D)에서는 탠덤 압연기로 실시할 수 있는 범위 내의 온간 압연으로 자속 밀도는 그다지 향상하지 않지만, 소재 (A), (B), (C) 및 (E)에서는 100°C 이상의 온간 연압에 의해 자속 밀도는 확실히 향상하였다.

그러나 자기 특성을 향상시키기 위하여 온간 연압을 실시하는 기술은 종래부터 공지이고, 압연시의 동적 변형시효, 패스 간에서의 정적 변형시효가 자기 특성의 향상에 기여하고 있다고 생각되어 왔다. 이와 같이 압연 온도를 높이고 패스 간에서의 시효를 촉진한다는 관점에서는 쟈지미어 (Sendzimir) 압연기가 탠덤(tandem) 압연기보다 유리하다. 한편, 비용의 일방향성 규소 강판을 제조함에 있어서는 제조 비용 삭감이라는 관점에서 냉간 압연을 쟈지미어압연기로 행하는 것보다도 탠덤 압연기로 행하는 편이 유리하다. 그리고 이번에 인히비터 성분이 비교적 적은 본 발명에 따르는 성분계에서는, 탠덤 압연기로도 쉽게 실시할 수 있는 100°C 정도의 온간 압연에서 자기 특성이 충분히 향상한다는 놀랄만한 효과가 발견되었다. 이것은 비용의 일방향성 규소 강판의 제조에 있어서는 획기적이다.

이렇게 비교적 저온(탠덤 압연기에서 쉽게 실시할 수 있는 100°C 정도)의 온간 압연으로 자기 특성이 향상하는 이유에 대해서는, 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉, 본 발명에서는 N를 통상 정도, 예를 들면 0.0085 wt% 정도로 함유하는 슬래브를 사용하고 있지만, AlN 으로 N과 원자적으로 당량인 Al양은 N양이 상기 0.0085%의 경우에서 0.0164 wt% 가 된다. 여기에서 Al을 주 인히비터로 이용하는 통상의 일방향성 규소강에서는 N의 원자수에 비해 Al의 원자수가 대폭으로 과잉인 Al양이 되었으나, 본 발명의 성분 범위

에서는 N의 원자수가 Al의 원자수에 비해 같은 정도이거나 그 이상이 되어 있다. 그 때문에 Al과 결합하지 않고 자유로운 N원자가 고용 상태가 되고, 이것이 온간 압연시의 시효를 촉진한다. 그 결과, 고용탄소에 의한 시효만을 이용하는 높은 Al재의 온간 압연에 비하여 본 발명에서는 고용탄소와 고용질소 양방의 기여가 있으므로 비교적 저온의 온간압연으로도 자기 특성이 향상한다고 생각된다.

이렇게 하여 본 발명에서의 온간 압연은 본 발명의 성분계가 되는 슬래브에 적용함으로써 탠덤 압연기에서도 쉽게 실시가능한 100℃ 정도의 온도로 자기 특성을 개선시킬 수 있다.

이하, 본 발명의 일방향성 규소 강판의 제조 방법의 한정 이유를 서술한다.

먼저, 슬래브의 성분 조성 범위의 한정 이유에 대하여 서술한다.

Si : 2.5~4.5 wt%

Si는 강의 전기 저항을 높이고 철손을 저감하는데 유용하며, 이를 위해서는 2.5 wt% 이상을 필요로 한다. 그러나 4.5 wt%를 넘으면 압연성이 나빠지므로 2.5~4.5 wt%의 범위가 바람직하다.

C : 0.015~0.07 wt%

C는 열간 압연 조작을 개선하고 2차 재결정을 진행시키는데 유용하며, 이를 위해서는 적어도 0.015 wt%를 필요로 한다. 그러나, 과잉으로 함유하면 압연성이 나빠지고 탈탄 소둔에 의한 제거가 곤란해져서 제품의 자기 특성이 열화하는 등의 지장이 생기므로 0.07 wt% 이하로 한다.

슬래브 중의 Al, Se 및 S의 각 함유량 [Al], [Se] 및 [S] (wt%) 에 대해 하기 식(1) 및 식(2)를 모두 만족하고, 또한 식(3) 및 식(4)를 모두 또는 어느 하나 만족하는 범위로 한다.

$$[Al(wt\%)] + (5/9) \{[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)]\} \leq 0.027 \dots\dots(1)$$

$$[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \leq 0.025 \dots\dots\dots(2)$$

$$0.016 \leq [Al(wt\%)] + (5/9) \{[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)]\} \dots\dots\dots(3)$$

$$0.010 \leq [Al(wt\%)] \dots\dots\dots(4)$$

이들 성분은 AlN, MnSe, MnS로서 인히비터의 역할을 맡는다. 이들 인히비터의 석출 상황을 전 공정에 걸쳐 제어하는 것이 일방향성 규소 강판 제조의 핵심 기술이고, 슬래브의 Al, Se, S의 함유량은 공정 조건에 따라, 적정 범위로 제어되어야 한다. 본 발명에서는 상술한 실험 결과에 기초하여 양호한 자기 특성이 얻어지는 범위로 한정 범위를 정하였다.

또, 발명자들은 냉연시의 크랙 발생 빈도와 슬래브의 성분 조성의 관계에 대하여 조사하였다. 그 결과, 크랙 발생 빈도는 강 중의 Al 함유량과 강한 상관성이 있다는 것이 분명해졌다. 도7은 Al 함유량이 다른, 두께 200mm의 일방향성 규소강 슬래브를 1200℃로 가열한 후 2.2mm까지 열연하고, 1000℃에서 120초간 열연판 소둔을 실시한 다음 0.35mm까지 냉간 압연한 경우의 크랙 발생 빈도를 나타내는 그래프이다. 또한, 종래의 크랙 발생 빈도와 상관성이 강하다고 알려져 있는 Si량, C량은 각각 Si : 2.95~3.05 wt%, C : 0.029~0.031 wt%로 조절되어 있다. 이 도7로부터, Al 함유량이 0.020 wt% 이하의 조건하에서는 크랙 발생 빈도가 낮은 것이 분명해졌다.

Mn : 0.04~2.0 wt%

Mn은 Se, S와 화합물 MnSe, MnS를 만들고, 인히비터로 작용하는 것 외에 열간 압연시의 취화(脆化) 방지에 유용하며, 이들의 목적을 위해서는 0.04 wt% 이상을 필요로 하지만, 2.0 wt%를 넘으면 탈탄에 지장을 초래하므로 0.04~2.0 wt%의 범위가 바람직하다.

N : 0.003~0.010 wt%

N은 Al과 마찬가지로, AlN의 구성 성분이며 이 때문에 0.003 wt% 이상 필요하지만, 0.010 wt% 를 넘으면 제품의 표면에 부풀음이 생기기 쉬우므로, 0.003~0.010 wt%의 범위로 하는 것이 바람직하다.

또한 다른 성분은 특히 한정하지 않지만, 인히비터로서 AlN, MnSe, MnS 외에 Cu, Cr, Sb, Nb, Sn 등을 가하는 것도 가능하다.

다음에 본 발명의 제조공정에 대하여 설명한다.

처음에 상기의 적절한 성분 조성 범위로 조정된 슬래브를 제조함에 있어서는 연속주조에 의해 제조해도 되고, 이곳으로부터 분과 압연을 거쳐 제조해도 된다.

이어서, 슬래브를 1260℃ 이하로 가열한 후 조압연(粗壓延), 마무리 압연으로 이루어지는 열간 압연을 실시하여 열연 코일로 만든다. 슬래브 가열 온도는 에너지원 단위를 낮게 하여 보통 강 정도로 한다는 목적 및 용융스케일의 다발을 방지하는 목적 때문에 1260℃ 이하로 한다. 또 근년, 슬래브 가열을 행하지 않고 연속 주조후 직접 열간 압연을 행하는 방법이 개시되어 있으나, 이 방법은 저온 슬래브 가열화를 꾀하는 본원에서도 적절히 실시할 수 있다.

열연 코일은 인히비터의 석출 상태를 제어하기 위해 열연판 소둔을 실시한다. 인히비터는 열연판 소둔의 승온 과정에서 미세석출함으로써 입자성장의 제어효과를 발휘한다. 열연판 소둔의 온도에 대해서는, 실험 결과로부터 양호한 자기 특성이 얻어지는 범위로 하여 800℃ 이상 1000℃ 이하로 한다. 800℃ 이상으로 하는 것은 800℃ 미만에서는 인히비터의 미세석출이 불가능하기 때문이다. 한편, 1000℃ 보다 고온에서는 열연판 소둔시에 표층부의 입자성장이 활발해지고, 표층 조대립이 생기기 쉬우며 이 표층 조대립은 후의 2차 재결정 시에 2차립의 성장을 저해한다. 따라서, 열연판 소둔 온도는 표층 조대화가 생기지 않을 정도인 1000℃ 이하로 해야 한다.

열연판 소둔 후 산세척하고 일 회 또는 중간 소둔이 포함된 이 회의 압연으로 최종 판두께로 한다. 압연

기는 탕덤 압연기이거나 전지미어 압연기라도 된다. 냉간 압연을 탕덤 압연기로 행하는 경우에는, 바람직하게 100℃ 이상의 온도에서 압연을 행한다. 압연 온도의 상한은 특별히 지정하지 않지만 탕덤 압연기에서 실시가능한 온도 범위라면 고온일수록 자기 특성 향상의 효과가 크다고 생각된다. 물론 냉간 압연을 전지미어 압연기로 행하는 경우에서도 온간 압연을 실시하면 자기 특성의 향상에 유효하지만, 제조 비용 저감을 위해서는 탕덤 압연기가 유리하다.

본 발명의 방법에 따르면 저온의 온간 압연이라도 현격한 자성 개선효과를 얻을 수 있으므로, 탕덤 압연기에서도 실시가 용이하다.

[실시예 1]

화학조성이 표 1에 나타내는 바와 같고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 a~m의 13 종류의 200mm 두께의 슬래브(각 슬래브의 Al, Se, S량은 도6에 나타내는 위치에 상당한다.)를 1200℃에서 가열한 후 2.2mm 두께까지 열연하였다. 이들 열연판을 750℃, 800℃, 850℃, 900℃, 950℃, 1000℃ 및 1050℃의 각 온도에서 60초 유지하는 열연판 소둔 후 산세척하고, 탕덤 압연기로 상온에서 냉각 압연하여 0.34mm 두께로 하고, 840℃에서 120초 유지하는 탈탄 소둔을 실시하였다. 수득한 탈탄 소둔판에 소둔 분리제를 도포하여 최종 마무리 소둔을 행하였다. 제품의 자속 밀도와 철손을 표2에 나타낸다.

본 발명 범위 내의 a~i 슬래브에서 열연판 소둔 온도가 800~1000℃인 것이 $B_0 \geq 1.845T$, $W_{FeO} \leq 1.360$ W/kg의 범용품으로 양호한 자기 특성을 나타내었다.

[표 1]

| 슬래브 기호 | (wt% 또는 mm) | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | Si (%) | C (mm) | Al (%) | N (mm) | Mn (%) | Se (%) | S (%) | Be (%) |
| a | 3.29 | 435 | 0.025 | 15 | 0.07 | 0.028 | 0.001 | 0.072 |
| b | 3.2 | 501 | 0.015 | 27 | 0.07 | 0.070 | 0.001 | 0.070 |
| c | 3.19 | 511 | 0.015 | 75 | 0.07 | 0.070 | 0.001 | 0.070 |
| d | 3.22 | 532 | 0.017 | 30 | 0.07 | 0.001 | 0.001 | 0.070 |
| e | 3.23 | 453 | 0.014 | 54 | 0.07 | 0.001 | 0.001 | 0.072 |
| f | 3.20 | 482 | 0.017 | 37 | 0.03 | 0.001 | 0.003 | 0.073 |
| g | 3.10 | 255 | 0.013 | 38 | 0.07 | 0.001 | 0.003 | 0.073 |
| h | 3.35 | 475 | 0.011 | 72 | 0.03 | 0.003 | 0.002 | 0.026 |
| i | 3.09 | 446 | 0.011 | 82 | 0.03 | 0.001 | 0.001 | 0.021 |
| j | 3.19 | 536 | 0.005 | 68 | 0.07 | 0.003 | 0.002 | 0.022 |
| k | 3.15 | 253 | 0.031 | 41 | 0.03 | 0.010 | 0.001 | 0.024 |
| l | 3.21 | 412 | 0.001 | 65 | 0.07 | 0.010 | 0.003 | 0.071 |
| m | 3.21 | 333 | 0.019 | 65 | 0.03 | 0.017 | 0.001 | 0.072 |

[표 2]

| 슬래브 기호 | 열연판 소둔 온도 (°C) | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 | 1050 |
| a | 1.713 1.691 | 1.851 1.838 | 1.858 1.819 | 1.835 1.833 | 1.850 1.845 | 1.851 1.846 | 1.806 1.878 |
| b | 1.812 1.804 | 1.849 1.846 | 1.855 1.845 | 1.863 1.811 | 1.870 1.809 | 1.858 1.813 | 1.714 1.729 |
| c | 1.801 1.574 | 1.868 1.840 | 1.883 1.815 | 1.880 1.890 | 1.889 1.801 | 1.861 1.809 | 1.833 1.490 |
| d | 1.785 1.696 | 1.865 1.816 | 1.880 1.889 | 1.873 1.279 | 1.878 1.279 | 1.875 1.272 | 1.831 1.411 |
| e | 1.847 1.856 | 1.850 1.890 | 1.857 1.805 | 1.890 1.295 | 1.855 1.280 | 1.855 1.289 | 1.822 1.398 |
| f | 1.858 1.705 | 1.853 1.859 | 1.862 1.849 | 1.855 1.835 | 1.856 1.839 | 1.850 1.851 | 1.777 1.644 |
| g | 1.658 1.629 | 1.851 1.848 | 1.859 1.831 | 1.860 1.827 | 1.853 1.838 | 1.854 1.840 | 1.718 1.771 |
| h | 1.650 1.804 | 1.850 1.840 | 1.857 1.825 | 1.867 1.820 | 1.863 1.825 | 1.860 1.822 | 1.725 1.621 |
| i | 1.664 1.839 | 1.858 1.844 | 1.855 1.827 | 1.858 1.819 | 1.853 1.858 | 1.858 1.810 | 1.775 1.608 |
| j | 1.724 1.845 | 1.761 1.807 | 1.798 1.800 | 1.775 1.798 | 1.703 1.815 | 1.615 1.880 | 1.558 1.921 |
| k | 1.564 1.865 | 1.581 1.899 | 1.801 1.861 | 1.685 1.850 | 1.714 1.841 | 1.708 1.847 | 1.587 1.932 |
| l | 1.635 1.684 | 1.740 1.801 | 1.749 1.799 | 1.730 1.830 | 1.696 1.698 | 1.664 1.833 | 1.584 1.898 |
| m | 1.571 1.880 | 1.593 1.877 | 1.560 1.841 | 1.593 1.793 | 1.696 1.805 | 1.678 1.818 | 1.585 1.825 |

냉연 후 0.34mm 상단 $B_0(T)$ 하단 $W_{1700}(W/kg)$

밑줄은 본 발명의 예, 다른 것은 비교예

[실시예 2]

실시예 1에서 양호한 자기 특성이 얻어진 조건 (표2에서 본 발명의 범위에 속하는 성분, 열연판 소둔 온도)하에서, 더 자기 특성을 향상시키기 위하여 냉간 압연을 탠덤 압연기로 120°C의 온도에서 행하였다. 여기에서도 슬래브 기호는 표1 및 도6에 대응하며, 슬래브 두께는 200mm, 슬래브 가열 온도는 1200°C, 열연판의 두께는 2.2mm이다. 열연판 소둔 후 산세척하고 탠덤 압연기로 압연하여 0.34mm 두께로 하고, 840°C에서 120초 유지하는 탈탄소둔을 실시한 후 소둔 분리제를 도포하여 최종 마무리 소둔을 행하였다. 제품의 자속 밀도와 철손을 표3에 나타낸다.

표3과 표1을 비교함으로써 B_0 에서 0.02~0.04T, W_{1700} 에서 0.01~0.05W/kg의 자기 특성이 향상한 것을 알았다.

[표 3]

| 슬래브 기호 | 열연판 소둔 온도 (°C) | | | | |
|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 |
| a | 1.884 | 1.896 | 1.891 | 1.885 | 1.881 |
| | 1.300 | 1.291 | 1.298 | 1.316 | 1.309 |
| b | 1.882 | 1.896 | 1.902 | 1.906 | 1.898 |
| | 1.309 | 1.305 | 1.276 | 1.271 | 1.287 |
| c | 1.891 | 1.900 | 1.921 | 1.905 | 1.892 |
| | 1.301 | 1.277 | 1.261 | 1.275 | 1.280 |
| d | 1.888 | 1.894 | 1.914 | 1.913 | 1.905 |
| | 1.286 | 1.251 | 1.236 | 1.239 | 1.245 |
| e | 1.889 | 1.893 | 1.899 | 1.901 | 1.905 |
| | 1.279 | 1.264 | 1.253 | 1.247 | 1.243 |
| f | 1.879 | 1.881 | 1.895 | 1.891 | 1.887 |
| | 1.324 | 1.315 | 1.297 | 1.299 | 1.314 |
| g | 1.884 | 1.896 | 1.890 | 1.889 | 1.883 |
| | 1.308 | 1.291 | 1.289 | 1.301 | 1.306 |
| h | 1.881 | 1.895 | 1.892 | 1.895 | 1.888 |
| | 1.309 | 1.290 | 1.285 | 1.281 | 1.293 |
| i | 1.875 | 1.878 | 1.887 | 1.893 | 1.885 |
| | 1.291 | 1.289 | 1.279 | 1.275 | 1.290 |

냉연 후 0.34mm 상단 B₀(T)

압연 온도 120°C 하단 W₁₇₋₆₀ (W/kg) (모두 본 발명)

[실시예 3]

표1의 13종류의 슬래브(슬래브 두께 200mm)를 1200°C에서 가열한 후 1.6mm 두께까지 열연하고, 열연판을 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C 및 1050°C의 각 온도에서 60초 유지하는 열연판 소둔 후에 산세척하고, 랜덤 압연기로 상온에서 냉간 압연하여 0.22mm 두께로 하고, 840°C에서 120초 유지하는 탈탄 소둔을 실시하였다. 수득한 탈탄 소둔판에 소둔 분리제를 도포하고 최종 마무리 소둔을 행하였다. 제품의 자속 밀도와 철손을 표4에 나타낸다.

본 발명 범위 내의 a~i 슬래브에서 열연판 소둔 온도가 800~1000°C인 것이 B₀ ≥ 1.845T, W₁₇₋₆₀ ≤ 1.010W/kg의 범용품으로 양호한 자기 특성을 보여준다.

[표 4]

| 슬래브 기호 | 열연 판 소둔 온도 (°C) | | | | | | |
|-----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 | 1050 |
| a | 1.680 | 1.858 | 1.857 | 1.800 | 1.603 | 1.850 | 1.784 |
| | 1.383 | 1.001 | 0.994 | 0.882 | 0.885 | 0.855 | 1.204 |
| b | 1.686 | 1.852 | 1.852 | 1.801 | 1.838 | 1.854 | 1.681 |
| | 1.471 | 0.993 | 0.991 | 0.980 | 0.970 | 0.883 | 1.594 |
| c | 1.811 | 1.853 | 1.852 | 1.878 | 1.871 | 1.858 | 1.807 |
| | 1.229 | 1.004 | 0.973 | 0.848 | 0.860 | 0.972 | 1.231 |
| d | 1.791 | 1.897 | 1.851 | 1.875 | 1.800 | 1.884 | 1.820 |
| | 1.348 | 0.971 | 0.973 | 0.843 | 0.936 | 0.845 | 1.068 |
| e | 1.635 | 1.848 | 1.850 | 1.867 | 1.857 | 1.851 | 1.609 |
| | 1.509 | 0.981 | 0.879 | 0.972 | 0.974 | 0.897 | 1.088 |
| f | 1.711 | 1.855 | 1.850 | 1.888 | 1.881 | 1.857 | 1.784 |
| | 1.359 | 1.007 | 1.004 | 0.905 | 0.898 | 1.000 | 1.269 |
| g | 1.893 | 1.854 | 1.853 | 1.859 | 1.857 | 1.850 | 1.701 |
| | 1.606 | 0.896 | 0.883 | 0.981 | 0.989 | 0.890 | 1.485 |
| h | 1.025 | 1.853 | 1.856 | 1.850 | 1.843 | 1.859 | 1.750 |
| | 1.406 | 0.902 | 0.885 | 0.992 | 0.973 | 0.981 | 1.303 |
| i | 1.001 | 1.852 | 1.852 | 1.859 | 1.845 | 1.862 | 1.770 |
| | 1.511 | 1.002 | 0.996 | 0.884 | 0.875 | 0.880 | 1.288 |
| j | 1.718 | 1.740 | 1.746 | 1.785 | 1.731 | 1.634 | 1.603 |
| | 1.503 | 1.481 | 1.478 | 1.445 | 1.496 | 1.549 | 1.587 |
| k | 1.587 | 1.571 | 1.615 | 1.703 | 1.725 | 1.807 | 1.581 |
| | 1.617 | 1.570 | 1.533 | 1.493 | 1.421 | 1.510 | 1.522 |
| l | 1.628 | 1.711 | 1.754 | 1.789 | 1.702 | 1.631 | 1.570 |
| | 1.581 | 1.489 | 1.463 | 1.476 | 1.483 | 1.550 | 1.558 |
| m | 1.525 | 1.558 | 1.634 | 1.688 | 1.654 | 1.609 | 1.548 |
| | 1.621 | 1.607 | 1.565 | 1.517 | 1.531 | 1.677 | 1.619 |

냉연 후 0.22mm 상단 $B_0(T)$ 하단 $W_{17/80}$ (W/kg)

밀줄은 본 발명의 예, 다른 것은 비교예

[실시예 4]

실시예 3에서 양호한 자기 특성이 얻어진 조건 (표4에서 이 발명의 범위에 속하는 성분, 열연판 소둔 온도) 하에서, 더 자기 특성을 향상시키기 위하여 냉간 압연을 탠덤 압연기로 120°C의 온도에서 행하였다. 슬래브 기호는 표1 및 도6에 대응하고 슬래브 두께는 200mm, 슬래브 가열 온도는 1200°C, 열연판의 두께는 1.6mm이다. 열연판 소둔 후 산세척하고 탠덤 압연기로 압연하여 0.22mm 두께로 하여 840°C에서 120초 유지하는 탈탄소둔을 실시한 후, 소둔 분리제를 도포하고 최종 마무리 소둔을 행하였다. 제품의 자속 밀도와 철손을 표5에 나타낸다.

표5와 표4를 비교함으로써, B_0 에서 0.02~0.04T, $W_{17/80}$ 에서 0.01~0.04 W/kg의 자기 특성이 향상하는 것을 알 수 있다.

[표 5]

| 슬래브 기호 | 열연 판 소둔 온도 (℃) | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 |
| a | 1.885 0.964 | 1.893 0.951 | 1.897 0.946 | 1.887 0.959 | 1.882 0.965 |
| b | 1.880 0.967 | 1.891 0.956 | 1.894 0.948 | 1.905 0.931 | 1.890 0.950 |
| c | 1.889 0.970 | 1.903 0.936 | 1.918 0.911 | 1.915 0.916 | 1.895 0.961 |
| d | 1.895 0.936 | 1.895 0.931 | 1.916 0.902 | 1.920 0.895 | 1.900 0.922 |
| e | 1.885 0.945 | 1.888 0.941 | 1.896 0.931 | 1.898 0.929 | 1.887 0.933 |
| f | 1.893 0.969 | 1.899 0.960 | 1.902 0.953 | 1.900 0.959 | 1.895 0.955 |
| g | 1.895 0.960 | 1.903 0.949 | 1.905 0.944 | 1.901 0.946 | 1.889 0.969 |
| h | 1.889 0.961 | 1.893 0.958 | 1.904 0.950 | 1.900 0.952 | 1.886 0.970 |
| i | 1.891 0.960 | 1.895 0.957 | 1.906 0.948 | 1.901 0.955 | 1.895 0.952 |

냉연 후 0.22mm 상단 B₀(T)

압연 온도 120℃ 하단 W_{T-∞} (W/kg)

냉간 압연을 탠덤 압연기로 120℃에서 행했을 때의 제품판의 자기 특성
(모두 본 발명)

발명의 효과

본 발명에 의해 자기 특성을 양호하게 유지한 범용 일방향성 규소 강판을 안정하게 제조하는 것이 가능해졌다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

규소강 슬래브를 가열한 후 열간 압연을 하고, 이어서 열연판 소둔(焼鈍)을 한 다음, 1회 또는 2회 이상의 냉간 압연에 의해 최종판 두께로 한 후, 탈탄(脫炭) 소둔을 하고, 이어서 소둔 분리제를 도포한 후에 마무리 소둔을 실시하는 일방향성 규소강판의 제조 방법에 있어서,

상기 슬래브 중의 Al, Se 및 S의 각 함유량 [Al], [Se] 및 [S] (wt%) 에 대해 하기 식(1) 및 식(2)를 모두 만족하고, 또한 식(3) 및 식(4)를 모두 또는 어느 하나 만족하며,

$$[Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \leq 0.027 \dots\dots(1)$$

$$[Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \leq 0.025 \dots\dots\dots(2)$$

$$0.016 \leq [Al(wt\%)] + (5/9) \{ [Se(wt\%)] + 2.47 [S(wt\%)] \} \dots\dots\dots(3)$$

$$0.010 \leq [Al(wt\%)] \dots\dots\dots(4)$$

그리고, 상기 슬래브를 1260℃ 이하에서 가열하는 것과,

열연판 소둔을 800℃ 이상 1000℃ 이하에서 행하는 것을 특징으로 하는 일방향성 규소 강판의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 슬래브 중의 Al [Al] (wt%) 이 하기 식(5) :

$$[Al(wt\%)] \leq 0.020 \dots\dots\dots(5) \text{ 를 만족하는 것을 특징으로 하는 일방향성 규소 강판의 제조방법.}$$

청구항 3

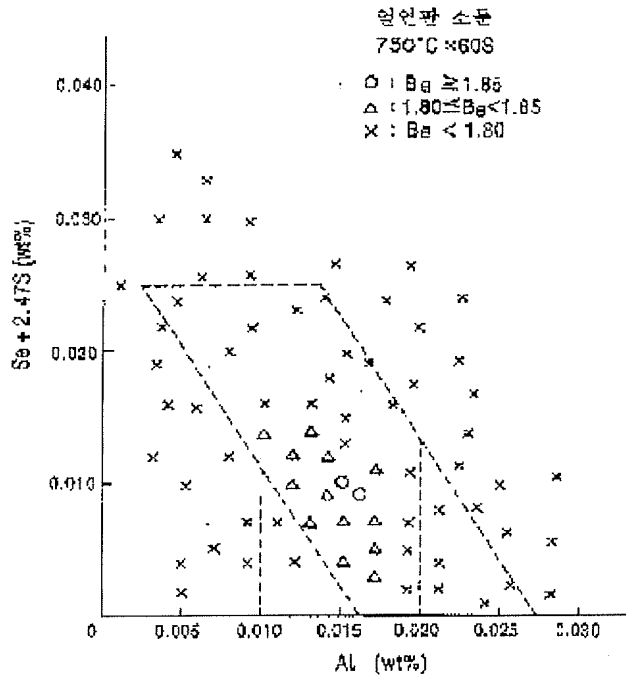
제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 슬래브가 C : 0.015~0.070 wt% 및 Si : 2.5 ~ 4.5 wt%를 함유하는 것을 특징으로 하는 일방향성 규소 강판의 제조방법.

청구항 4

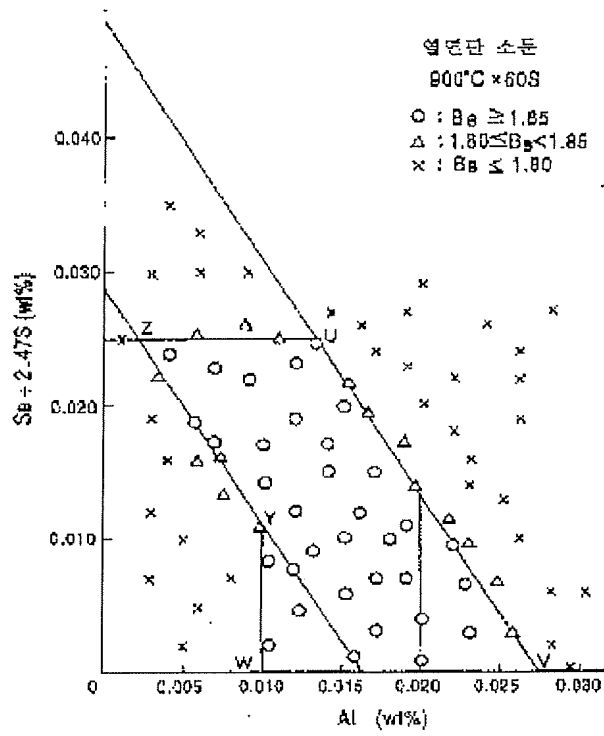
제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 냉간 압연을 탠덤압연기로 100℃ 이상의 온도에서 행하는 것을 특징으로 하는 일방향성 규소 강판의 제조방법.

도면

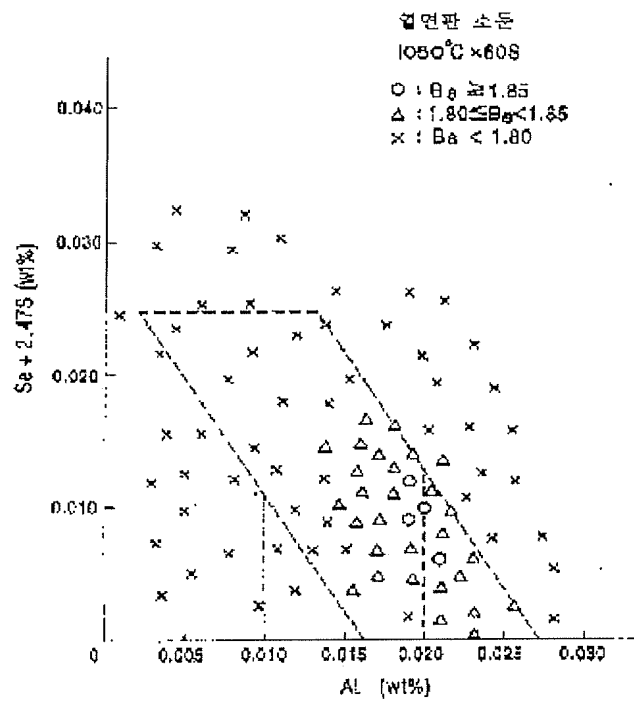
도면1



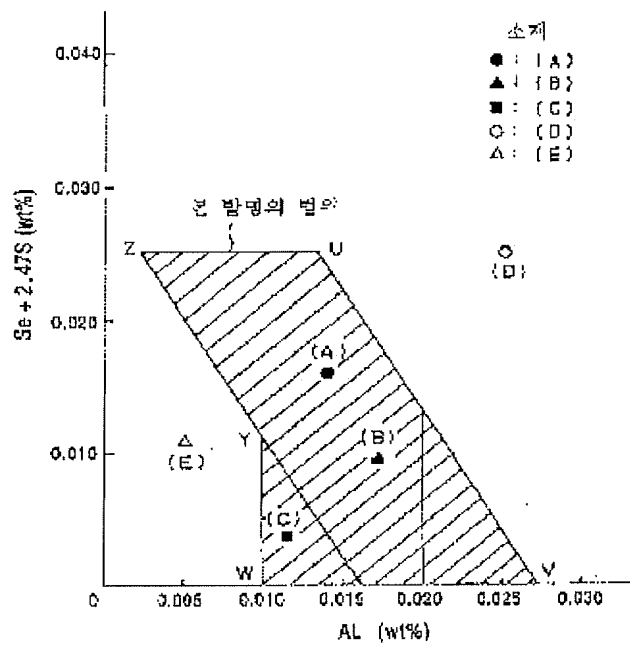
도 12



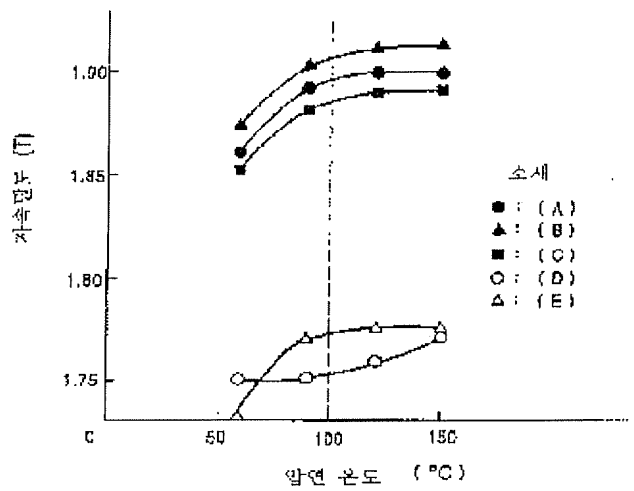
도 93



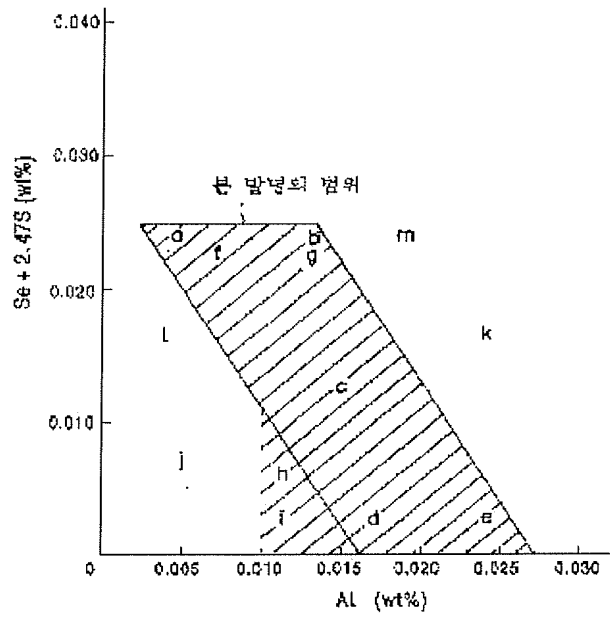
도 14



도 15



도면 8



도면 7

